

専攻分野	工学
専攻区分	電気電子工学

氏名：夏井 拓也

テーマ：電磁場解析のための2次要素を使った有限要素法の研究

キーワード科目：電磁気学

加速器は様々なシミュレーションコードを用いて設計を行う。シミュレーションコードの精度は、加速器の性能に影響をおよぼし、その向上は重要な課題となっている。本研究では、加速空洞を設計するための従来より高精度が得られる計算コードの開発を行った。

開発したコードは、有限要素法で高周波電磁場解析を行い、従来よりも高い精度で解析を行うことを目標とした。この目標を達成するため、従来、多く用いられてきた三角形1次要素ではなく、三角形2次要素を用いた。また、解析領域の境界が曲線のとときに形状誤差を軽減するため、曲線境界では曲線2次要素を用いた。三角形2次要素と曲線2次要素を使用した点が本研究の特徴である。

計算原理としては、はじめに、磁場に関するヘルムホルツ方程式に対応する汎関数より、軸対称構造空洞における定在波  $TM_0$  モードを解析するための汎関数

$$J[H_\theta] = \iint_D \left[ \left( \frac{\partial H_\theta}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial H_\theta}{\partial r} \right)^2 + 2 \frac{H_\theta}{r} \frac{\partial H_\theta}{\partial r} + \left( \frac{H_\theta}{r} \right)^2 - \left( \frac{\omega}{c} \right)^2 H_\theta^2 \right] 2\pi r dr dz \quad (1)$$

を導きだした。そして、この式から2次要素と曲線要素に対応した離散化式を導いた。

式(1)を離散化した式を用いて、実際にプログラミングをして、計算コードを作成した。その結果、非常に高精度の計算コードを作成することができた。

作成した計算コードにより、高エネルギー加速器研究機構のPFの空洞を解析した結果を図1に示す。この空洞の測定された共振周波数は499.5MHzであり、対して本研究で作成されたコードにより計算された共振周波数は499.557MHzであった。これにより、作成したコードに大きな間違いがないことを確認した。また、計算誤差を定量的に調べるため、さらに詳細に精度検証を行った。その結果、作成コードの精度は  $2 \times 10^{-10}$  程度であることが分かった。本研究では、従来よりも高精度の電磁場解析コードを作成することができ、当初の目標を達成することができた。

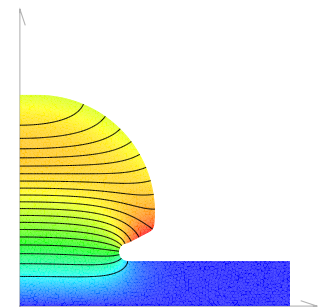


図 1: PF の空洞の計算結果